



II Informe técnico de ensayo en establecimiento “La Carlota”

Conociendo las limitantes para actuar.

Marzo, 2021.

El siguiente informe fue elaborado por Técnicos de INTA Anguil (Romina Fernández, Alberto Quiroga, Cristian Álvarez).

Se desea agradecer al establecimiento “La Carlota” y a Javier Seewald, por el apoyo recibido para que la experiencia siga adelante.

Si se desea mayor detalle, creemos oportuno la realización de reunión entre las partes.

La compactación es una problemática cada vez más recurrente en la región, se adjunta en otro documento el proyecto de trabajo referido a esta temática, 8 de cada 10 consultas responden a este proceso que genera gran preocupación entre los productores y colegas de diferentes regiones del país. El mismo en general, no está acompañado de estudios que aborden las diferentes prácticas/manejo para la recuperación del suelo. Debido a ello, es que el presente trabajo tratará de dar respuestas, a largo plazo, acerca de si existe la posibilidad que diferentes estrategias de manejo permitan revertir la compactación (perdida de poros) /densificación (dureza asociada a bajos contenidos de humedad).

Instalación del ensayo:

Durante los meses marzo-junio 2019, se establecieron ensayos de descompactación en una transecta edafoclima-secuencia norte-sur de 400 km abarcando desde B Larroude, Trenal, Anguil y Guatraché. Mientras que, en el 2020, se instalaron dos experiencias más, en Trili y Anguil.

El presente corresponde a los datos del lote 2 en cercanías de Guatraché, en el establecimiento “La Carlota”, donde se persigue como principal objetivo:

Determinar la magnitud y la perdurabilidad de los cambios en las propiedades físico-hídricas de un suelo compactado a través del uso de un descompactador mecánico. Cuantificar el efecto de la inclusión de cultivos de cobertura sobre propiedades físico-hídricas y desarrollo de los sistemas radiculares y rendimiento de los cultivos.

Se instalaron diferentes tratamientos:

1- Testigo, sin cultivo de cobertura y sin descompactador mecánico (T). 2- Cultivo de cobertura, utilizado como descompactador biológico (CC). 3- Descompactador mecánico sin cultivo de cobertura (D). 4-Combinación de Descompactador mecánico y cultivo de cobertura (D+CC).

Se muestreó suelo para evaluar la condición inicial de estructura, diferentes índices de compactación mediante test proctor, cilindros para evaluar porosidad total, conductividad hidráulica y densidad aparente.

En mayo 2019 (cultivo de cobertura-barbecho), octubre 2019 (secado del CC) y septiembre 2020 (secado del CC) se determinó infiltración de agua en todos los tratamientos (Foto 1).



Foto 1: Determinación de Infiltración.



Foto 2: Muestreo de suelo a diferentes profundidades para determinar porosidad total, conductividad hidráulica y densidad aparente.



Foto 3: Determinación de conductividad hidráulica en laboratorio.

A continuación, se presentan datos de diferentes indicadores evaluados para caracterizar el estado del suelo al inicio de la experiencia. Cada dato volcado en Tablas o Figuras corresponde a un promedio de 4 o más réplicas.

La Tabla 1 presenta las características edáficas del suelo donde se desarrolla la experiencia y un monte de Caldén ubicado cerca considerado suelo de referencia para algunas propiedades de suelo.

Tabla 1: Caracterización del suelo (0-20 cm de profundidad). A+L: arcilla + limo. MO: materia orgánica. IMO: relación MO/ A+L. P: fósforo

	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	A+L (%)	Textura	MO (%)	IMO	P (ppm)	pH
					Franco				
Ensayo	20	34	46	54	arenosa	2,6	4,8	3,2	6,32
Monte	12	39	49	51	Franca	3,5	6,8	12	6,60

El movimiento del agua y de los solutos en el suelo depende de propiedades físico-hídricas, tales como porosidad total (PT), conductividad hidráulica (K), densidad aparente (DA) e infiltración, las cuales están condicionadas por la estabilidad del sistema poroso. Estos indicadores que reflejan la condición física del suelo se presentan en la Tabla 2. El valor óptimo de PT se encuentra alrededor del 50%, no obstante, para el suelo en estudio, se encontró, que en general la PT fue baja, el mayor valor se encontró en los 18-24 cm, mientras que el menor valor se encontró a los 6-12 y 12-18 cm. Justamente a estas profundidades el valor de densidad aparente (DA) fue el mayor y el menor valor de conductividad hidráulica (K) se encontró entre los 0-6 y 6-12 cm de profundidad. La K es una medida que refleja la mayor o menor facilidad con la que el suelo deja pasar el agua a través de él en un periodo de tiempo, y se determina en laboratorio, utilizando cilindros con suelo sin disturbar. La K fue menor en los primeros tres estratos de profundidad (0-6, 6-12 y 12-18 cm). Si bien el uso del suelo afecta la K, los valores hallados de esta variable se encontraron por encima del rango considerado crítico (de baja permeabilidad) entre 0,6 a 2 mm h⁻¹. No obstante resulta necesario monitorear este indicador a través del tiempo, ya que el manejo intensivo, afecta su funcionamiento.

Estudios realizados por el grupo Suelos indican que la pérdida de la PT normalmente se da a expensas de pérdidas en la macroporosidad (poros mayores a 30 micrones) lo cual podría

estar condicionando el comportamiento hidráulico del suelo, causando desuniformidad en el crecimiento radicular. La Foto 1 ilustra el crecimiento de raíces cuando la PT es baja.

Estas densificaciones en general no son uniformes, variando en cuanto a espesor, profundidad y resistencia a la penetración en cortas distancias (efecto típico de compactaciones en los lotes). En muchas ocasiones se pueden visualizar como manchoneos en el cultivo el cual puede además presentar estrés hídrico por sectores e incluso senescencia anticipada.

Es importante considerar que, si bien los valores absolutos no presentan limitaciones, los cambios en porosidad se dan de manera heterogéneos en el suelo. En el estrato 12-18 cm se encontró que la PT es un 45% menos, la K es 80% menor, y la DA correspondió a un 20% más alta con respecto a 0-6 cm.

Tabla 2: Porosidad total (PT). Densidad aparente (DA). Conductividad hidráulica (K). Inicio (mayo 2019).

Profundidad (cm)	PT (%)	DA (g/cm ³)	K (cm/h)
0-6	37,6	1,32	6,31
6-12	31,4	1,38	6,43
12-18	31,4	1,35	9,3
18-24	42,9	1,23	16,9

Es importante considerar que, los cambios en la porosidad se dan de manera heterogénea en el suelo. Los valores bajos en 0-6 y 6-12 cm de profundidad se traducen en que la velocidad de entrada de agua y conducción es menor y a los 18 cm la misma aumenta, esto se traduce en que las colonizaciones de raíces se alteran, y como consecuencia la captación de los recursos se torna cada vez más difícil. La Foto 4 ilustra el crecimiento de raíces cuando la PT es baja.

Las densificaciones en general no son uniformes, varían en cuanto a su espesor, profundidad y resistencia a la penetración en cortas distancias (efecto típico de compactaciones en los lotes). En ocasiones, se visualizan como manchoneos en el cultivo el cual puede además presentar estrés hídrico por sectores e incluso senescencia anticipada.

El efecto de la compactación sobre el rendimiento de los cultivos depende de las condiciones climáticas que interactúan con las propiedades del suelo. Por este motivo, el efecto de la compactación sobre el cultivo es más grave en condiciones de estrés hídrico, mientras que, con condiciones climáticas favorables, en muchos casos, no se observan efectos perjudiciales sobre ellos.





Foto1: Raíz de maíz, soja y girasol.

La resistencia a la penetración es otro indicador físico de suelo y se encuentra en estrecha relación con la humedad. Debido a ello, cada vez que se realizan determinaciones con el penetrómetro se debe muestrear suelo para medir y corregir por el contenido de agua. Cuando el suelo se encuentra en óptimo estado de conservación los valores de RP no guardan relación al contenido de agua, lo que significa que a bajo o alto contenido hídrico el valor de RP es similar. Contrariamente, cuando el suelo se encuentra en vías de degradación (pérdida de materia orgánica, porosidad, etc) se evidencia relación negativa entre RP-humedad.

En la Figura 1 se presenta la RP en función al contenido de agua del suelo, en 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm de profundidad. Claramente se puede observar que en todas las profundidades existió relación entre la RP y contenido de agua. Se hallaron valores altos de RP, en 0-10 cm el mayor valor fue 3,2 MPa; en 10-20 cm fue 2,60 MPa; para 30-40 cm se

encontró 1,7 MPa y en 30-40 cm 1,40 MPa. Todos estos valores se encontraron dentro del rango de agua útil (CC-PMP) lo que en algunas circunstancias podría condicionar el crecimiento radicular, la tasa de difusión de oxígeno y entrega de agua por parte del suelo al cultivo (Stress hídrico- Stress calórico).

Los valores de RP hallados resultarían perjudiciales, debido a que superaron los valores críticos que causan disminución en el crecimiento radical (entre 1 a 1,7 MPa), y valores entre 3 a 4 MPa causarían una reducción del 90 % en el crecimiento de la raíz.

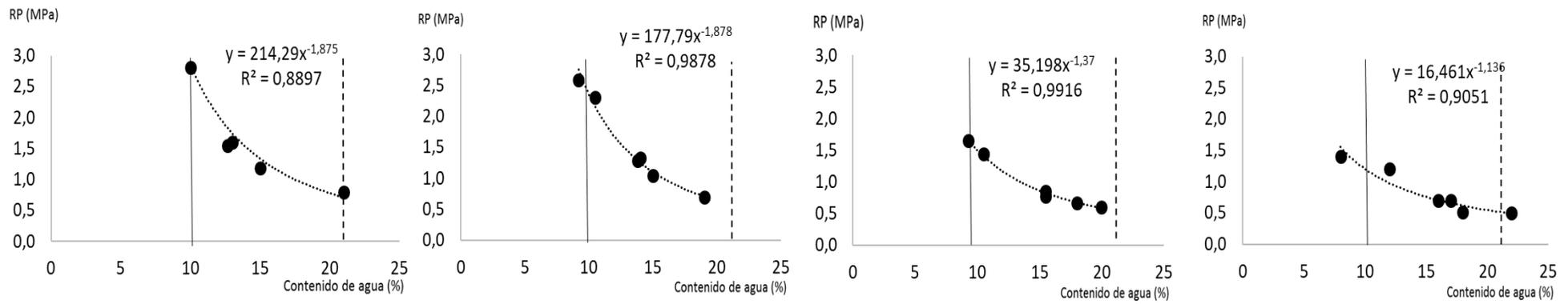


Figura 1: Relación entre resistencia a la penetración y contenido de agua para a) 0-10, b) 10-20, c) 20-30 y d) 30-40 cm. Línea vertical llena punto de marchitez permanente, línea vertical a rayas capacidad de campo.

Otra metodología utilizada para evaluar la sensibilidad de un suelo a la compactación es el “Test Proctor” y consiste en la obtención de una curva “densidad aparente vs contenido hídrico” en el laboratorio. De la curva Proctor, es posible obtener la densidad aparente máxima y su correspondiente humedad crítica (HC). Para esta metodología se utiliza el suelo de los primeros 20 cm de profundidad.

El máximo valor de DA de la curva corresponde a la densidad aparente máxima (DAM, suelo del ensayo $1,51 \text{ g/cm}^3$ el contenido de agua en ese punto es definido como la humedad crítica (suelo del ensayo del 17,4%) a la cual el suelo es más sensible a perder porosidad, más precisamente los macroporos. Estos poros, son muy importantes ya que son los encargados de conducir el agua de las lluvias, en ellos se aloja el oxígeno y son necesarios para el crecimiento radicular (Figura 2). El suelo del ensayo con menor contenido hídrico (situaciones más frecuentes) puede llegar a tener altas DA y muy superiores que el suelo del monte.

De la relación entre la DA (Tabla 2) y la DAM se obtiene el valor de compactación relativa ($CR = DA / DAM$), la cual corresponde al 89%. Los valores de CR entre 75-87% se corresponden con los valores de rendimientos máximos para varios cultivos, mientras que se ha documentado un valor umbral del 90 % por encima del cual se han registrado menores rendimientos, principalmente en años de bajas precipitaciones.

Los valores de estos indicadores se incrementan a medida que los suelos presentan menores contenidos de MO. Debido a ello, es que se plantean interrogantes sobre la práctica de la des compactación mecánica de los suelos, de la residualidad de la misma en la medida que no esté acompañada por incrementos en los contenidos de MO.

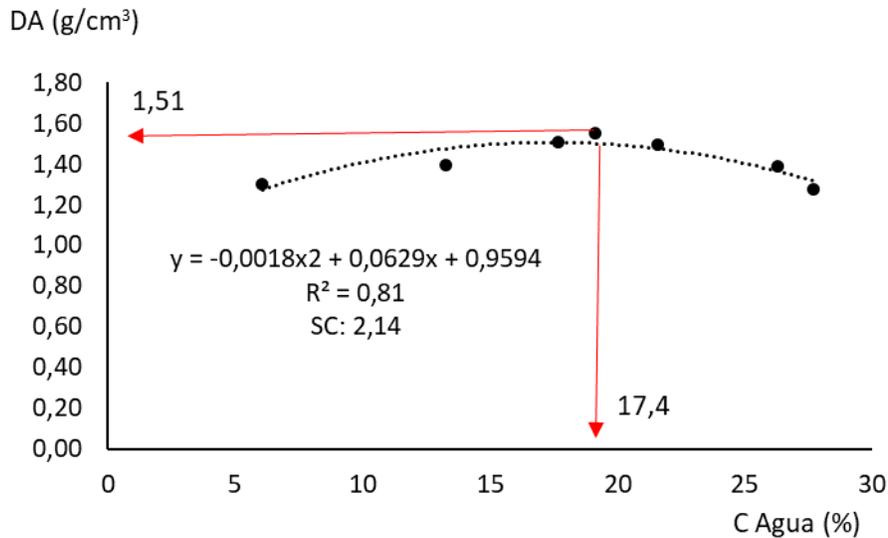


Figura 2: Relación entre densidad aparente (DA) y contenido hídrico (C Agua).

Los resultados presentados, indicarían problemas relacionados a la calidad físico-hídrica del suelo que podría condicionar el normal desarrollo de los cultivos. Por ello se comenzó a trabajar con diferentes alternativas para tratar de descompactar el suelo (descompactación mecánica- biológica) e incorporar residuos de cultivos de cobertura y raíces. No obstante, datos del grupo de suelos, provenientes de ensayos de experimentación, indican que los cultivos anuales no son suficientemente efectivos en la formación de macroporos, comparados con pasturas perennes. Rotaciones más diversificadas y con mayor proporción de gramíneas presentan una mejor condición física, mejorando la proporción de poros, en relación a aquellas rotaciones menos diversificadas.

El descompactador mecánico utilizado fue un subsolador, la separación entre púas fue de 40 cm y se trabajó a una profundidad de 35-40 cm. La descompactación se realizó antes de la siembra de triticale utilizado como cultivo de cobertura (CC) con una condición óptima de humedad (alrededor del 70-80 % del agua útil, para este suelo). En el presente trabajo se lo definió con la letra D (descompactador), además, se dejó una franja sin subsolar que se identificó S/D (sin descompactar).

El suelo descompactado con subsolador no invierte ni mezcla los horizontes y deja los residuos sobre el suelo. Las púas de acero producen fuerzas laterales y verticales que producen la ruptura de las capas compactadas siguiendo las líneas de fragmentación natural del suelo.

Sumando tecnología:

El 28 de marzo (2019) se sembró triticale a razón de obtener 180 pl/m². A la siembra se fertilizó con 50 kg/ha de MAP.

Considerando el efecto de las cuatro situaciones generadas en marzo de 2019, testigo absoluto (T), descompactador (D), cultivo de cobertura (CC), descompactador+cultivo de cobertura (D+CC), el 6 de mayo y 16 de octubre de 2019 se determinó RP y contenido de agua. Se puede observar en la Figura 3 que el T y CC presentaron valores similares y mayores con respecto a D y D+CC. Esta diferencia en la menor RP puede ser debida a la descompactación realizada por el subsolador. Podría existir un efecto combinado causado por el menor contenido de agua, debido al consumo por parte del CC, no obstante, se puede observar en la Tabla 3, que los contenidos hídricos en T, CC, D y D CC fueron similares.

Tabla 3: Contenido de agua el 6 de mayo 2019, cuando se midió RP. T: testigo absoluto. D: descompactador. CC: cultivo de cobertura. D+CC: cincel y cultivo de cobertura.

Prof (cm)	Contenido de agua (%)			
	T	CC	D	D+CC
0-10	12,5	12,1	12,1	12,9
10-20	14,1	12,7	14,5	11,5
20-30	15,5	14,9	17,5	13,5
30-40	17,8	17,0	14,6	16,0

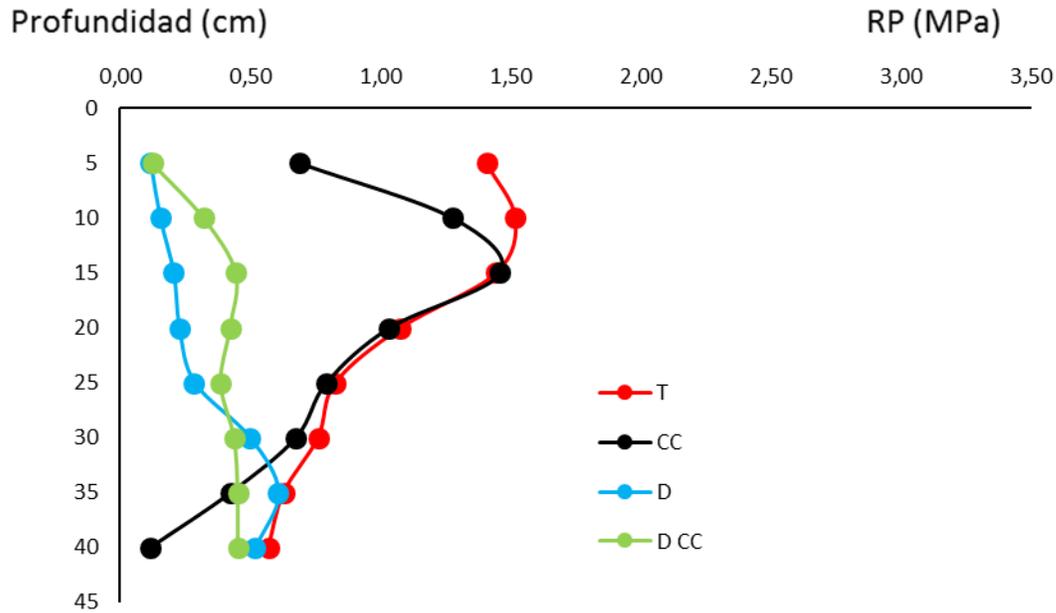


Figura 3: Resistencia a la penetración (RP) en la profundidad del suelo el 6 de mayo 2019.

Tabla 3: Contenido de agua el 16 de octubre, cuando se midió RP. T: testigo absoluto. D: descompactador. CC: cultivo de cobertura. D CC: cincel y cultivo de cobertura.

Prof (cm)	Contenido de agua (%)			
	T	CC	D	D+CC
0-10	9,2	11,1	11,1	8,9
10-20	8,9	10,0	10,0	9,9
20-30	6,9	9,0	9,0	11,7
30-40	8,7	8,0	8,0	8,3

El 16 de octubre de 2019 los valores registrados en cuánto a RP para los 0-10 cm fueron mayores en T con respecto a las demás situaciones. A los 15 cm T y CC presentaron igual valor (2,60 MPa) considerado alto para los procesos biológicos y el enraizamiento. Lo mismo sucedió en la fecha anterior. En D y D CC se registraron los menores valores hasta los 20 cm de profundidad, a partir de ahí la RP en D CC fue mayor. Se destaca la situación D con bajos

valores en todo el perfil. Es importante destacar que los valores del contenido de agua se encontraron por debajo del PMP en todas las situaciones.

Cuánto es el efecto que tiene la descompactación mecánica a través del tiempo será motivo de estudio que perseguirá el ensayo.

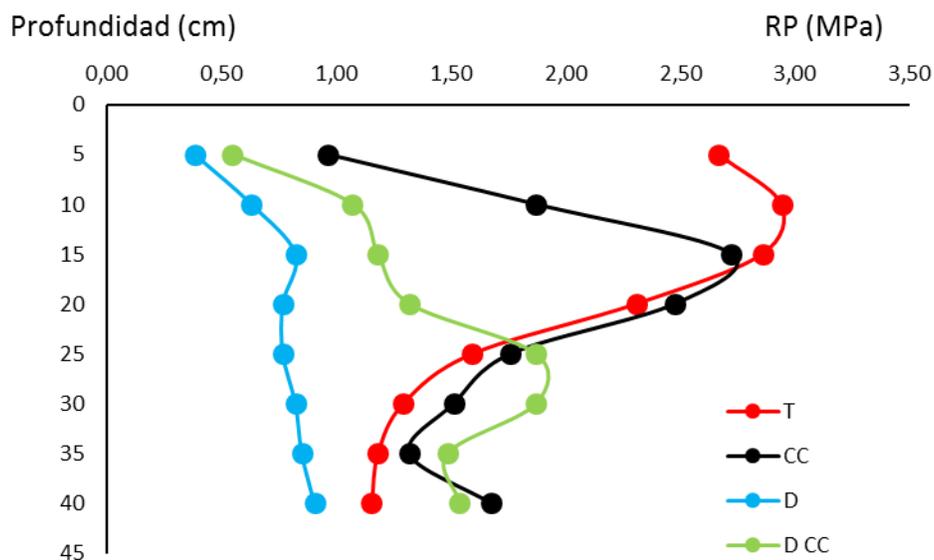


Figura 3: Resistencia a la penetración en función de la profundidad el 16 de octubre 2019. T: testigo absoluto. D: descompactador. CC: cultivo de cobertura. D CC: cincel y cultivo de cobertura.

La Figura 4 ilustra la variabilidad en la determinación de la RP. En este sentido se presentan valores promedios de RP en el cultivo de cobertura sin descompactar y descompactado previo a la siembra, en el surco y en él entre surco.

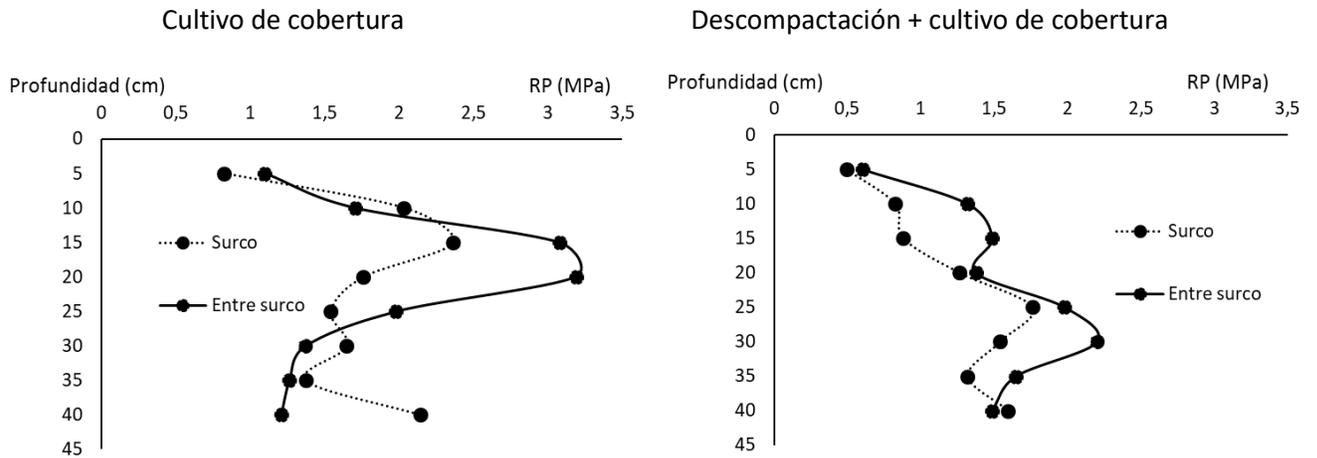


Figura 4: Resistencia a la penetración en función de la profundidad, en el surco y entre surco en el cultivo de cobertura y descompactado + cultivo de cobertura

Eficiencia de barbecho.

La eficiencia de barbecho (EB) se presenta en la Tabla 4 – Figura 5 y refleja la cantidad de agua de las precipitaciones que es transferida al cultivo sucesor.

Durante el 2019

Los resultados del trabajo demostraron que para T y C considerando un barbecho largo (desde el 10/2 al 13/12/2020) la EB fue de negativa para T y de tan solo 1% para D, lo que significa que de las precipitaciones ocurridas durante el mismo (540 mm) no lograron ser almacenadas en el suelo T y solamente 5 mm fueron transferidas al cultivo de maíz en D. Si consideramos un barbecho corto en los tratamientos que tuvieron CC, desde el momento que se aplicó herbicida hasta siembra del maíz (17/9 al 13/17/2020) las lluvias registradas fueron 217 mm y la EB fue del 11,3 y 22,3 % para CC y D CC, respectivamente. Esto significa que 24 mm en CC y 48 mm en D CC fueron transferidas al cultivo de maíz. Las mayores EB en los tratamientos con CC, se deben al efecto positivo que tienen los residuos sobre la superficie del suelo en almacenar el agua de las precipitaciones, reduciendo la evaporación en momentos donde la demanda atmosférica es alta. Además, el descompactador junto con el CC permitió que mayor proporción de agua de las lluvias ingresen al perfil de suelo por un efecto de mejor estructura por lo menos en este período de tiempo.

Tabla 4: Eficiencia de barbecho (EB) en T: testigo, C: cincel, CC: cultivo de cobertura, C+CC: cincel y cultivo de cobertura.

2019	T (28/3 al 4/12)	D (28/3 al 4/12)	CC (16/10 al 4/12)	D+CC (16/10 al 4/12)
EB (%)	-15,4	-13,7	36,3	33,4
2020	T (10/2 al 13/12)	D (10/2 al 13/12)	CC (17/9 al 13/12)	D+CC (17/9 al 3/12)
EB (%)	-1,2	1	11,3	22,3

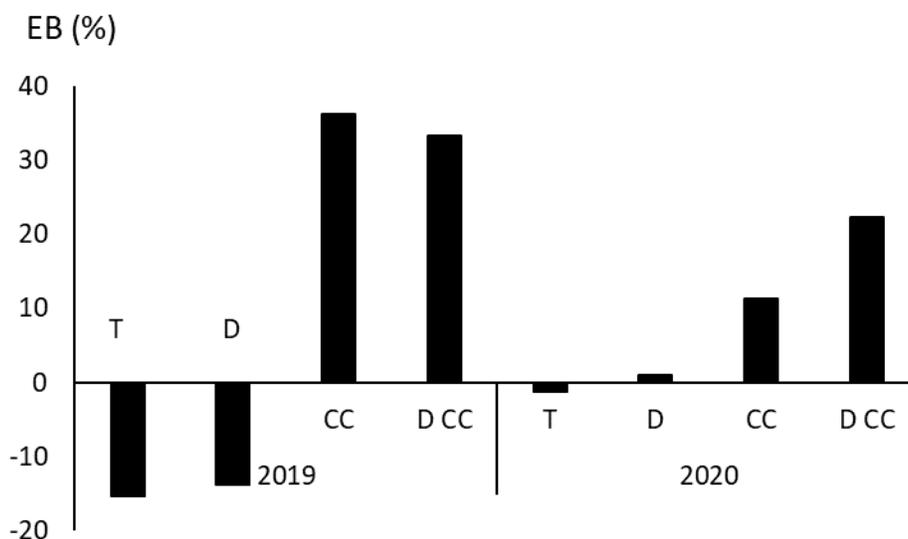


Figura 5: Eficiencia de barbecho para el cultivo de verano, en los diferentes manejos.

Contenido de agua en el suelo

En la Figura 6 se presenta el contenido de agua desde que se inició la experiencia hasta que se cosechó el maíz.

El contenido de agua total a la siembra del CC hasta los 60 cm de profundidad fue 120 mm. El 16/10/2019, momento en que se secaron los CC, el contenido hídrico fue se encontró debajo del punto de marchitez (PMP). Al momento de la siembra del cultivo de maíz (4/12), T y D no lograron recargar el perfil de suelo, pero se observa una mejora en la cantidad de agua donde hubo CC con respecto de la fecha de su secado. Para el 22/2 los valores de agua se encontraron cerca de capacidad de campo (CCa). Se puede observar en el grafico que durante el segundo año de experiencia (2020) los contenidos de agua en los diferentes manejos evaluados fueron superiores y cercanos a CCa, indicando una mejora en las precipitaciones con respecto al primer año (2019).

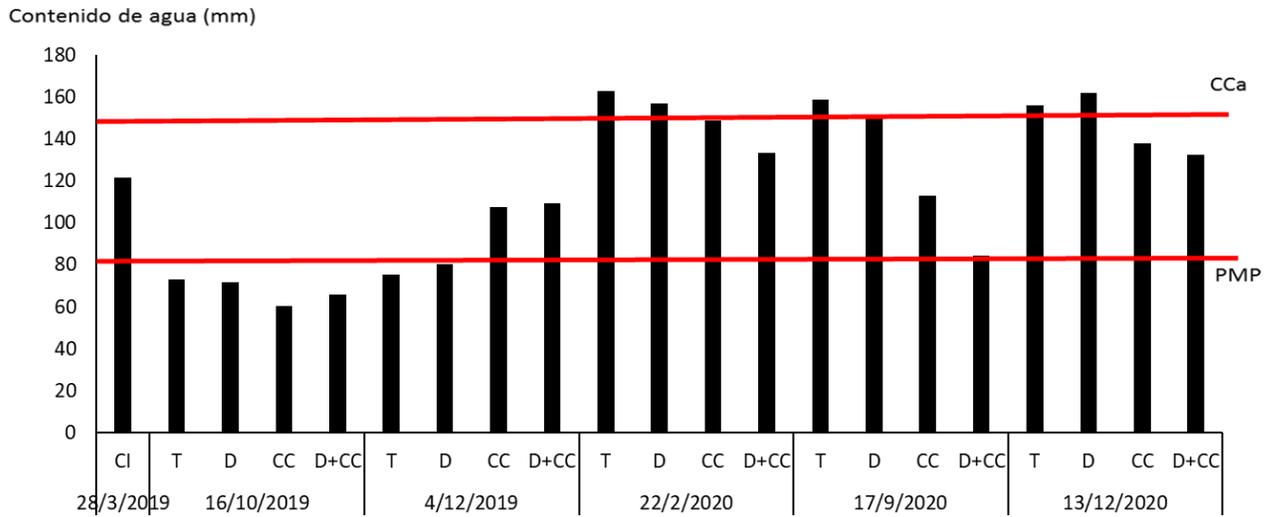


Figura 6: Contenido de agua desde inicio de la experiencia. CI: contenido inicial. T: testigo absoluto. D: descompactador. CC: cultivo de cobertura. D+CC: subsolado y cultivo de cobertura. CCa: capacidad de campo y PMP: punto de marchitez permanente

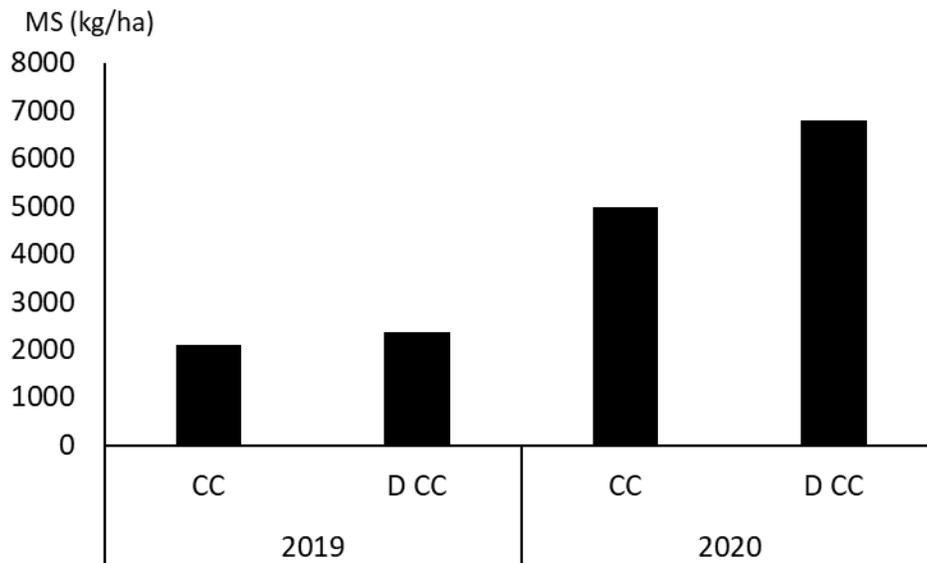


Figura 7: Materia seca (MS) del cultivo de cobertura (CC) y del CC descompactado (D CC) al momento del secado en octubre 2019 y septiembre 2020.

El uso consuntivo (UC) corresponde a la cantidad de agua que utilizó el cultivo de cobertura para generar su biomasa. En la Tabla 5 se puede observar que el UC del CC sin descompactar fue inferior al descompactado, en los dos años evaluados. Si bien el CC en el manejo descompactado consumió mayor cantidad de agua, la mayor producción de biomasa le permitió tener mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) en ambos años de estudio.

Tabla 5: Uso consuntivo (UC) y eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de cobertura en el lote, ensayo sin descompactar (CC), descompactado a 70 y 35 cm entre púas.

	Variable	CC	D CC
	UC (mm)	258	273
2019	EUA (kg/mm ha)	9	14
	UC (mm)	355	369
2020	EUA (kg/mm ha)	14	18

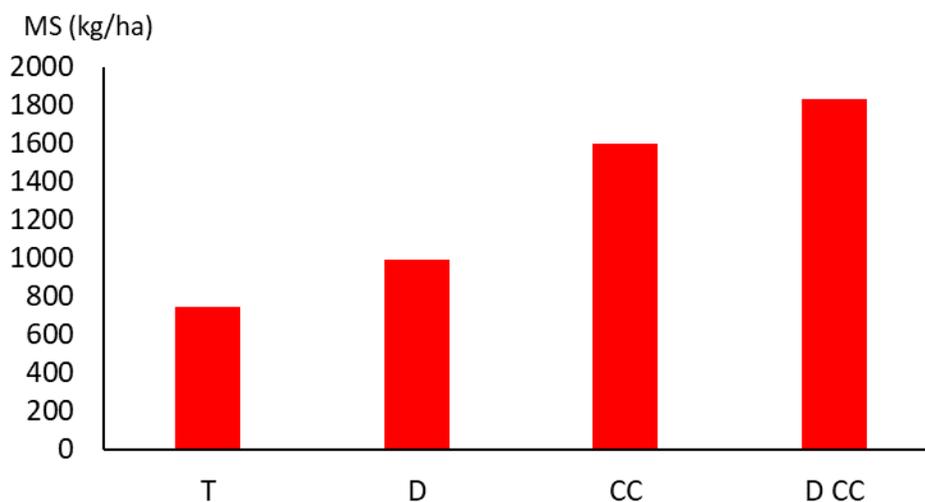


Figura 6: Materia seca de maíz V10-12, sobre testigo absoluto (T), descompactado (D), cultivo de cobertura (CC) y descompactado y CC (D CC). Maiz 2020.

Con respecto a la variable de captación de agua-entrada de agua en el perfil del suelo, medida a través de infiltrómetros de carga constante en el campo, la misma se determinó en mayo de 2019, octubre de 2019 y septiembre de 2020.

En mayo se midió infiltración de agua en el testigo sin descompactar que refleja la condición inicial y se representó con círculos grises en las Figuras 7, 8 y 9. Si se comparan los diferentes manejos en el mes de mayo, el uso del descompactador (subsolador) aumentó considerablemente la IB, también el uso del CC (sin descompactar) pudo mejorar a través de la colonización del suelo por parte de las raíces del triticale, la entrada de agua al perfil del suelo (Tabla 6). Con respecto al espacio temporal, se puede observar que para el caso del descompactado barbecho la IB disminuyó significativamente en octubre 2019 y más aún en septiembre 2020. El valor hallado en mayo fue muy alto lo cual es propio de este sistema de descompactación mecánica, no obstante, los poros/fisuras generados mecánicamente no perduraron a través del tiempo. En cambio, en el manejo con cultivo de cobertura el valor de IB se mantuvo en septiembre 2019 y octubre 2020.

Para el manejo descompactado+CC en mayo el valor de IB fue muy superior con respecto al testigo, con valores mayores en octubre 2019 y bajando un poco en septiembre 2020. Es interesante destacar que al año y medio de haber descompactado, el valor de IB es similar entre descompactador+CC y CC (sin descompactar).

Estos resultados preliminares, se seguirán midiendo y analizando durante 2021 y posiblemente 2022.

Infiltración de agua

Tabla 6: Infiltración básica (mm/h)

	Mayo 2019	Octubre 2019	Septiembre 2020
Testigo. Condición inicial	20		
Descompactado Barbecho	958	704	127
Sin descompactar CC	118	96	119
Descompactado CC	219	344	111

Descompactado

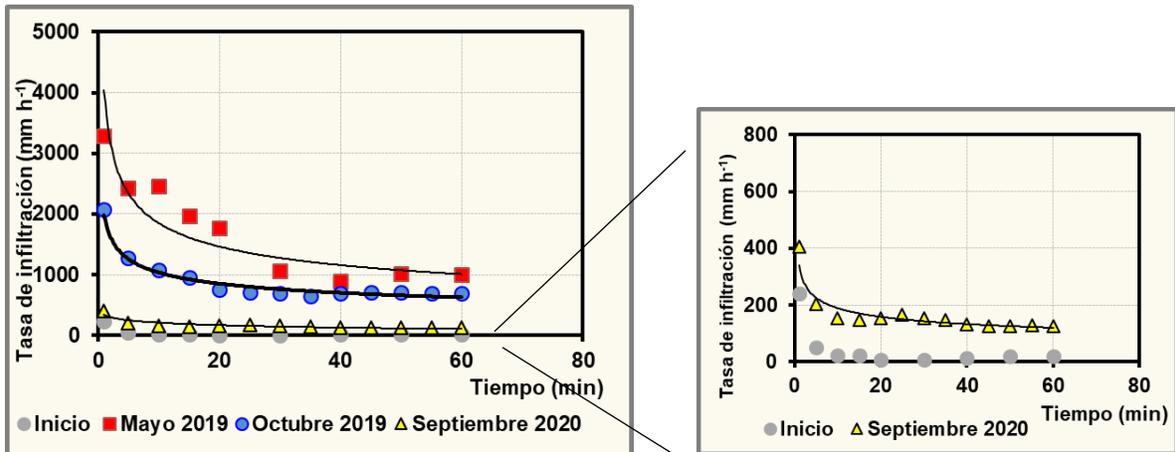


Figura 7:

Cultivo de cobertura.

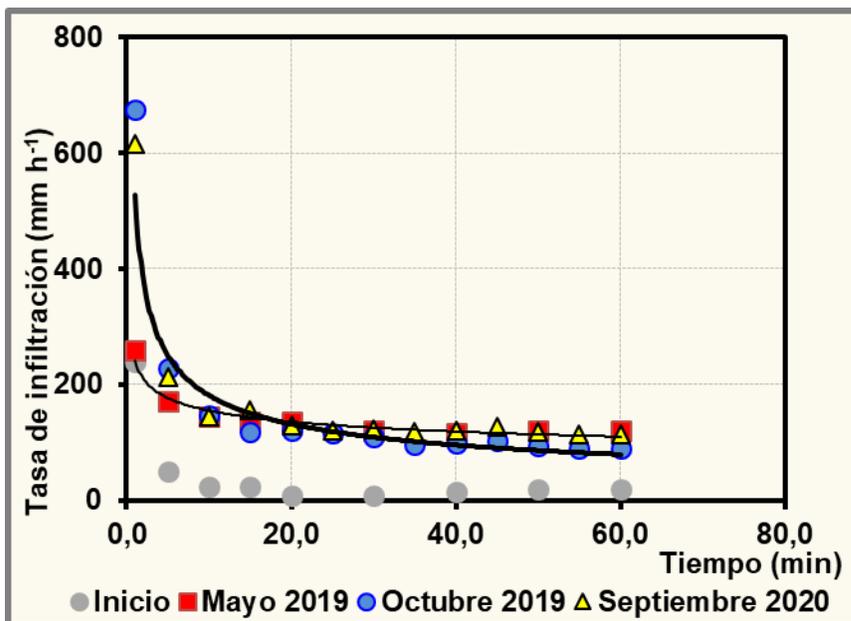


Figura 8:

Descompactado+CC

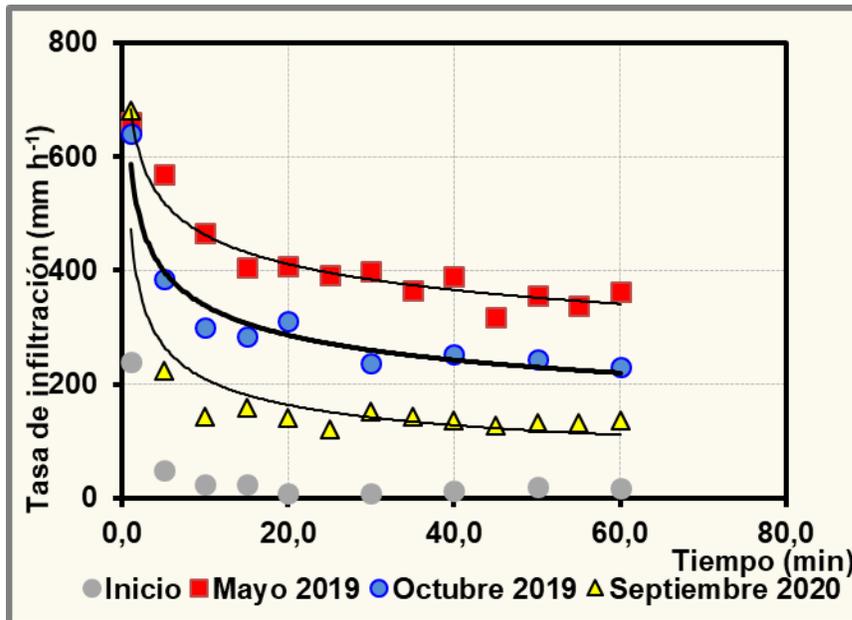


Figura 9:

Estos resultados preliminares fueron muy alentadores considerando el año y medio de pasado el descompactador, ya sea tanto en propiedades físico hídricas, como en las relacionadas a los cultivos.

El efecto del subsolado se manifiesta en las etapas tempranas del crecimiento de las raíces de cultivos, ya que posteriormente se produce la recompactación de las capas aflojadas. Esta recompactación es motivo de estudio en todos los sitios donde se instalaron estos ensayos.

El descompactado, provoca una reestructuración del suelo, donde a partir de las fisuras generadas por el implemento la entrada de agua se incrementa, sumado a ello y no menor los procesos biológicos ocurren a mayor tasa debido a mayor presión de oxígeno en la matriz porosa y un mejor contenido hídrico.

Un suelo con inadecuadas condiciones físicas (sin agregación, masivo, duro, anaeróbico), puede ser transformado, temporalmente, a través de la labranza, en un suelo con estructura aparentemente cercana a la óptima (cama de siembra con agregados entre 1-5

mm de diámetro, sobre un subsuelo flojo y bien drenado). Sin embargo, esta estructura está lejos de encontrarse en equilibrio, siendo inestable mecánicamente, con posibilidades de colapsar cuando se humedece, pudiendo quedar físicamente tan mal o a veces peor que antes del laboreo.

A largo plazo el objetivo también se centra en evaluar si la gramínea sin descompactar puede ser una alternativa viable a ser usada para mitigar este problema.

Trabajo a futuro.

Se prevé cosechar el maíz en los diferentes manejos, y seguir monitoreando los indicadores físico hídricos a través del tiempo. El tiempo será “el condicionante” de futuros trabajos. Cuando el rendimiento y los indicadores físico hídricos ya no tengan el efecto positivo del descompactador mecánico, nos retiraremos del lote. ¿Qué indicador será más sensible a la recompactación? El rendimiento de los cultivos? La K, IB, PT o la DA? Estas son preguntas que nos planteamos en el ensayo de descompactación a largo plazo.